



(19)

(11) Publication number: **08061959 A**

Generated Document.

**PATENT ABSTRACTS OF JAPAN**(21) Application number: **06202003**(51) Intl. Cl.: **G01C 19/56 G01P 9/04**(22) Application date: **26.08.94**

(30) Priority:

(43) Date of application  
publication: **08.03.96**(84) Designated contracting  
states:(71) Applicant: **NIPPONDENSO CO LTD**(72) Inventor: **KANO KAZUHIKO**  
**OTSUKA YOSHINORI**

(74) Representative:

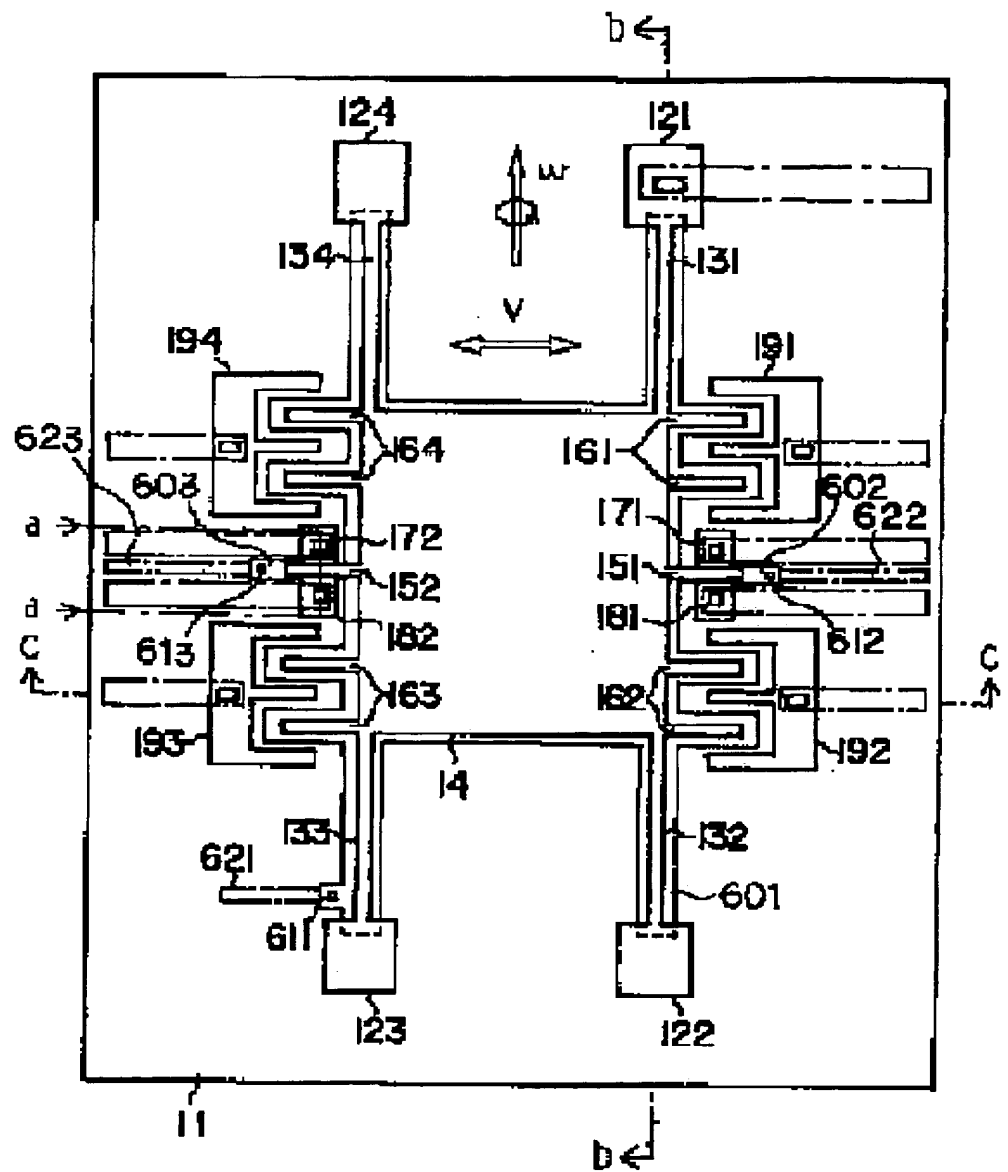
**(54) SEMICONDUCTOR  
YAW RATE SENSOR**

(57) Abstract:

**PURPOSE:** To provide a semiconductor yaw rate sensor having an improved temperature characteristic.

**CONSTITUTION:** When a yaw rate is added to movable electrodes 14, 151 and 152 vibrating in the horizontal direction, displacement takes place vertically in the electrodes 14, 151 and 152 relative to a semiconductor substrate 11, due to Coriolis force. Then, the displacement is detected by drain current between source electrodes 171 and 172, and drain electrodes 181 and 182. Voltage is applied to lower electrodes 601 to 603, so as to keep the drain current at a preset value, and the electrodes 14, 151 and 152 are feedback-controlled to be kept at constant positions. A yaw rate is detected on the basis of a feedback amount at the control process.

COPYRIGHT: (C)1996,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-61959

(43) 公開日 平成8年(1996)3月8日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

G 0 1 C 19/56

G 0 1 P 9/04

識別記号

庁内整理番号

9402-2F

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平6-202003

(22) 出願日 平成6年(1994)8月26日

(71) 出願人 000004260

日本電装株式会社

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地

(72) 発明者 加納 一彦

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 日本電装株式会社内

(72) 発明者 大塚 義則

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 日本電装株式会社内

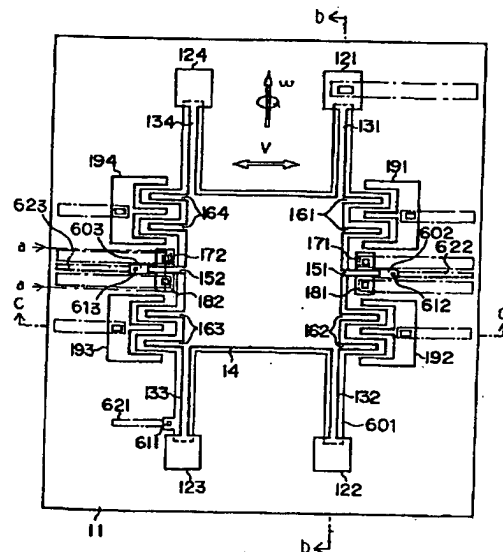
(74) 代理人 弁理士 伊藤 祥二

(54) 【発明の名称】 半導体ヨーレートセンサ

(57) 【要約】

【目的】 温度特性を向上させた半導体ヨーレートセンサを提供する。

【構成】 可動電極14、151、152を水平方向に振動させている時に、ヨーレートが可動電極14、151、152に加わるとコリオリの力により可動電極14、151、152が半導体基板11に対し垂直方向に変位する。この変位をソース電極171、172とドレイン電極181、182間のドレイン電流にて検出する。このドレイン電流が所定の電流値になるように、下部電極601～603に電圧を印加し、可動電極14、151、152を一定の位置に保持するようフィードバック制御する。この時のフィードバック制御量によりヨーレートを検出する。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】 半導体基板と、

この半導体基板の表面から所定の間隔を隔てて上方に位置する可動電極と、

この可動電極を前記半導体基板に対して水平方向に振動させる振動手段と、

前記可動電極の前記半導体基板に対する垂直方向の変位を検出する垂直変位検出手段と、

前記振動手段により前記可動電極を水平方向に振動させている時に、前記垂直変位検出手段にて検出した前記可動電極の変位に応じ前記可動電極と前記半導体基板の間隔を一定に保つように前記可動電極の垂直方向の変位を制御する垂直変位制御手段とを備え、

この垂直変位制御手段による前記可動電極の制御量にてヨーレートを検出するようにしたことを特徴とする半導体ヨーレートセンサ。

【請求項2】 前記振動手段は、前記半導体基板の上方に位置して前記半導体基板の表面から所定の間隔を隔て且つ前記可動電極にギャップを介して配置され、前記可動電極を静電気を利用して振動させる励振用固定電極を有するものであることを特徴とする請求項1に記載の半導体ヨーレートセンサ。

【請求項3】 前記可動電極は、可動ゲート電極を有するものであって、前記垂直変位検出手段は、前記半導体基板の表面に、前記可動ゲート電極に対向する位置に不純物拡散領域によって形成されたソースおよびドレイン電極を有し、前記可動ゲート電極の垂直方向の変位を前記ソースドレイン電極間の電流により検出するものであることを特徴とする請求項1又は2に記載の半導体ヨーレートセンサ。

【請求項4】 前記垂直変位制御手段は、前記可動電極の水平方向における振動方向が変わるときの前記ソースドレイン電極間の電流値を基準として、前記ソースドレイン電極間の電流値が前記基準となる電流値になるように前記可動電極の垂直方向の変位を制御するものであることを特徴とする請求項3に記載の半導体ヨーレートセンサ。

【請求項5】 前記垂直変位検出手段は、前記可動電極と前記半導体基板との間の静電容量を検出するものであることを特徴とする請求項1又は2に記載の半導体ヨーレートセンサ。

【請求項6】 前記垂直変位制御手段は、前記半導体基板の表面に形成された下部電極と、前記垂直変位検出手段にて検出した前記可動電極の変位に応じて前記下部電極に制御電圧を印加し、前記下部電極と前記可動電極間の静電気力により前記可動電極と前記半導体基板の間隔を一定にする電圧制御手段を有することを特徴とする請求項1乃至5のいずれか1つに記載の半導体ヨーレートセンサ。

【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、半導体基板を用いた半導体ヨーレートセンサに係わり、特に、自動車の車体制御、ナビゲーション等に用いることができる。

## 【0002】

【従来の技術】従来、この種のヨーレートセンサとしては、特開平2-113817号公報に示されるような振動ジャイロがある。この振動ジャイロは、金属製の角棒の特定される面に対して圧電素子を接着して振動体を構成し、これを細い棒によって支持するよう構成されたものである。また、特開平4-142420号公報に示される角速度センサにおいては、金属製の音叉に対して圧電素子を接着して構成されている。これらのヨーレート等の角速度を検出する装置は、いずれも圧電素子で本体に振動を与え、測定対象であるヨーレートによって発生されたコリオリの力で生じた歪みを、圧電素子で検出される電圧の変化によって検出するものである。

【0003】このようなセンサ機構の検出感度等の性能は、振動体の支持方法や加工精度によって左右されるようになり、したがって高性能のセンサ機構を作成するためには、その加工組み立て上の困難度が高く、必然的に高価となる問題を有する。またセンサ機構の小型化に対しても、加工組み立ての制約上から容易ではない。このような問題を解決するため、本件出願人は、先にトランジスタ型の変位検出機構を利用することにより、半導体技術を応用したトランジスタ型ヨーレートセンサを出願した（特願平5-311762号）。

【0004】このトランジスタ型ヨーレートセンサは、半導体基板の上方に所定の間隔を隔てて配置された梁構造の可動電極と、その可動電極に対し半導体基板に形成されたソース・ドレイン電極とを備え、前記梁構造の可動電極を静電気力を用いて振動させた時に、ヨーレートの作用により可動電極が垂直方向に変位し、この変位によるソース・ドレイン電極間の電流変化によりヨーレートを検出するものである。

【0005】しかしながら、トランジスタ型変位検出部は温度特性をもっているため、基準位置が温度ドリフトしたり、振幅が変化したりして、角速度 $\omega$ に対する変位が温度変化により見かけ上変化してしまうという問題点が存在する。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】本発明は上記問題に鑑みてなされたもので、温度特性を向上させた半導体ヨーレートセンサを提供することを目的とする。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】本発明は上記目的を達成するため、請求項1に記載の発明においては、半導体基板（11）と、この半導体基板（11）の表面から所定の間隔を隔てて上方に位置する可動電極（14、15、152）と、この可動電極（14、151、15

2)を前記半導体基板(11)に対して水平方向に振動させる振動手段(161~164, 100)と、前記可動電極(14, 151, 152)の前記半導体基板(11)に対する垂直方向の変位を検出する垂直変位検出手段(171, 172, 181, 182, 200)と、前記振動手段(161~164, 100)により前記可動電極(14, 151, 152)を水平方向に振動させている時に、前記垂直変位検出手段(171, 172, 181, 182, 200)にて検出した前記可動電極(14, 151, 152)の変位に応じ前記可動電極(14, 151, 152)と前記半導体基板(11)の間隔を一定に保つように前記可動電極(14, 151, 152)の垂直方向の変位を制御する垂直変位制御手段(300~500)とを備え、この垂直変位制御手段(300~500)による前記可動電極の制御量(14, 151, 152)にてヨーレートを検出するようにしたことを特徴としている。

【0008】請求項2に記載の発明においては、請求項1に記載の発明において、前記振動手段(161~164, 100)は、前記半導体基板(11)の上方に位置して前記半導体基板(11)の表面から所定の間隔を隔て且つ前記可動電極(14, 151, 152)にギャップを介して配置され、前記可動電極(14, 151, 152)を静電気を利用して振動させる励振用固定電極(191~194)を有するものであることを特徴としている。

【0009】請求項3に記載の発明においては、請求項1又は2に記載の発明において、前記可動電極(14, 151, 152)は、可動ゲート電極(151, 152)を有するものであって、前記垂直変位検出手段(171, 172, 181, 182, 200)は、前記半導体基板(11)の表面に、前記可動ゲート電極(151, 152)に対向する位置に不純物拡散領域によって形成されたソースおよびドレイン電極(171, 172, 181, 182)を有し、前記可動ゲート電極(151, 152)の垂直方向の変位を前記ソースドレイン電極(171, 172, 181, 182)間の電流により検出するものであることを特徴としている。

【0010】請求項4に記載の発明においては、請求項3に記載の発明において、前記垂直変位制御手段(171, 172, 181, 182, 200)は、前記可動電極(151, 152)の水平方向における振動方向が変わるときの前記ソースドレイン電極(171, 172, 181, 182)間の電流値を基準として、前記ソースドレイン電極(171, 172, 181, 182)間の電流値が前記基準となる電流値になるように前記可動電極(151, 152)の垂直方向の変位を制御するものであることを特徴としている。

【0011】請求項5に記載の発明においては、請求項1又は2に記載の発明において、前記垂直変位検出手段

(171, 172, 181, 182, 200)は、前記可動電極(14, 151, 152)と前記半導体基板(11)との間の静電容量を検出するものであることを特徴としている。

【0012】請求項6に記載の発明においては、請求項1乃至5のいずれか1つに記載の発明において、前記垂直変位制御手段(300~500)は、前記半導体基板(11)の表面に形成された下部電極(601~603)と、前記垂直変位検出手段(171, 172, 181, 182, 200)にて検出した前記可動電極(14, 151, 152)の変位に応じて前記下部電極(601~603)に制御電圧を印加し、前記下部電極(601~603)と前記可動電極(14, 151, 152)間の静電気力により前記可動電極(14, 151, 152)と前記半導体基板(11)の間隔を一定にする電圧制御手段(500)を有することを特徴としている。

【0013】なお、上記各手段のカッコ内の符号は、後述する実施例記載の具体的手段との対応関係を示すものである。

【0014】

【発明の作用効果】請求項1乃至6に記載の発明によれば、可動電極を水平方向に振動させている時に、ヨーレートが可動電極に加わるとコリオリの力により可動電極が半導体基板に対し垂直方向に変位する。この変位を検出してその変位がなくなる方向に可動電極の垂直方向の変位を制御し、可動電極と半導体基板の間隔を一定に保つようにする。この可動電極の垂直方向の変位を制御する制御量にてヨーレートが検出される。

【0015】従って、可動電極の垂直方向変位に対し可動電極と半導体基板の間隔を一定にするフィードバック構成として、その制御量にてヨーレート検出を行うようにしているから、可動電極の垂直方向変位そのものでなくフィードバックによる制御量を用いることによって、温度特性の影響を少なくしたヨーレート検出を行うことができる。

【0016】

【実施例】以下、本発明を図に示す実施例について説明する。

(第1実施例)図1にヨーレートセンサの平面的な構成、図2に概略的な斜視図を示す。この実施例においては、P型のシリコン基板により半導体基板11が構成される。この半導体基板11上には、アンカー部121~124が4箇所形成され、このアンカー部121~124にそれぞれ一端が支持される梁131~134によって重り14が支持される。従って、重り14は梁構造体によって変位自在に支持されている。

【0017】この重り14には、例えば対向する一対の辺部分から側方に突設されるようにして、トランジスタのゲート電極を構成するようになる細片状の可動ゲート

電極151および152が一体的に形成されている。また、重り14はこの可動ゲート電極151および152の本体機構として構成されて、ヨーレートによる変位量を稼ぐために設定される。さらに、重り14には、可動ゲート電極151および152のそれぞれ両側に位置して、それぞれ一对の細片を櫛の歯状に平行に設定した励振電極161~164が突設形成されている。この励振電極161~164は重り14および可動ゲート電極151および152に振動を与える作用をする。

【0018】これらアンカー部121~124、梁131~134、重り14、可動ゲート電極151と152、さらに励振電極161~164は、例えばポリシリコンやタングステン等の耐熱性金属によって一体的に構成されるもので、この実施例においては、代表的な材料としてポリシリコンが使用されている。重り14およびこれと一体的に構成される可動ゲート電極151および152と励振電極161~164は、半導体基板11の主表面上に所定の間隔を隔てて配置され、梁131~134を介してアンカー部121~124により保持される。

【0019】細片状の可動ゲート電極151および152のそれぞれに対応する半導体基板11の主表面部には、イオン注入等の手段によりN型不純物を導入して形成された拡散層からなるソース電極171および172と、ドレイン電極181および182が形成され、可動ゲート電極151および152がそれぞれゲート電極として作用するトランジスタが構成される。

【0020】励振電極161~164のそれぞれに対応して励振用固定電極191~194が配置される。この励振用固定電極191~194は、それぞれ半導体基板11の主面上の励振電極161~164と同じ高さ位置に固定的に設定されるもので、それぞれ櫛の歯状にした3本の細片を有し、中央の1本の細片が励振用電極161~164をそれぞれ構成する一对の細片の中央位置に設定され、他の2本の細片が上記一对の細片の外側にそれぞれ位置するように設定され、互いに櫛の歯を組み合わせるように設定されて、その各櫛の歯の相互間に所定のギャップが形成される。

【0021】これらの励振用固定電極191~194のそれぞれは、アルミニウム配線を介して図示しない励振用電源に接続され、所定の周波数の電圧信号が供給されるもので、静電気力によって励振電極161~164を振動させて、重り14および可動ゲート電極151~154を振動させる。この場合、可動ゲート電極151および152と励振電極161~164が一体的に設けられる重り14が、アルミニウム配線を介して外部回路に接続され、さらにソース電極171と172およびドレイン電極181と182もアルミニウム配線を介して外部の図示しないヨーレート検出回路に接続される。

【0022】これら梁131~134、重り14、可動

ゲート電極151と152、さらに励振電極161~164の半導体基板11側には、イオン注入層等により下部電極601~603が形成されている。この下部電極601~603は、コンタクトホール611~613を介してアルミニウム配線621~623にそれぞれ接続される。

【0023】図3(A)に、図1のa-a線に対応する部分の断面構造を示す。P型シリコンの半導体基板11の主表面部に、N型不純物の拡散層によるソース電極172とドレイン電極182が形成され、可動電極152によってソース電極172とドレイン電極182との間に反転層21が形成される。22は半導体基板11上に形成された層間絶縁膜からなる絶縁膜であり、231および232はそれぞれソース電極172およびドレイン電極182に接続されたアルミニウム配線である。可動電極152と半導体基板11の間には、絶縁膜22の厚さに対応するエアギャップ24が設定され、可動電極152が、半導体基板11に対して垂直方向および紙面に対して垂直方向に変位可能とされる。

【0024】図3(B)に、図1のb-b線に対応する断面構成を示す。半導体基板11の上に形成された絶縁膜22で支えられるようにして、例えばポリシリコンで構成した重り14が設定され、この重り14はアンカー部121と122との間に梁131と132を介して保持される。ここで、絶縁膜22はエアギャップ24を設定するためのもので、 $\text{SiO}_2$ あるいは $\text{Si}_3\text{N}_4$ 等によって構成されている。また、可動部14、131、132の下側の半導体基板11にはイオン注入等により下部電極601が形成されている。

【0025】絶縁膜22は、重り14や梁131~134と共にこの図では示されない可動ゲート電極151および152と半導体基板11との間隔を設定する犠牲層で構成されるもので、アンカー部121~124に対応する部分を除いてエッチング除去されてエアギャップ24が形成される。このエッチングに際しては、重り14、梁131~134、可動ゲート電極151および152、さらにアンカー部121~124を構成する材料であるポリシリコンと半導体基板11がエッチングされず、犠牲層である絶縁膜22のみがエッチングされるエッチング液が使用される。

【0026】図3(C)は、図1のc-c線に対応する断面構造で、重り14と半導体基板11の表面との間にエアギャップ24が設定されている。次に、この様に構成されるヨーレートセンサの製造方法について、図4および図5により説明する。これらの図においては、図3(A)に示した部分を代表する状態で示している。また、右半分にはセンサ処理回路としてMOSFETを想定し、その製造プロセスを併せて示す。

【0027】まず、図4(A)に示すようにP型シリコンからなる半導体基板11の表面上に、センサ作製部に

対応して犠牲層とされる絶縁膜 22 を形成する。この絶縁膜 22 は、まず半導体基板 11 の主表面の全体に形成した後、トランジスタ作製部上の絶縁膜を除去するようにして形成してもよい。そして、図 4 (B) に示すように、このトランジスタ作製部に対応する半導体基板 11 の主表面上に、ゲート酸化によってゲート絶縁膜 25 を形成する。

【0028】次に、図 4 (C) に示すように、この絶縁膜 22 および 25 上にポリシリコンによる膜を成膜し、フォトリソ工程を経て可動ゲート電極 15 さらにトランジスタのゲート 26 を加工する。同時に、この図では示されないがアンカー部 121~124、梁 131~134、重り 14 等を加工する。そして、図 4 (D) に示すように、フォトリソ工程によってレジスト 28 を形成し、絶縁膜 22 に開口 271 および 272 を形成し、可動ゲート電極 15 に対して自己整合的に窓開けする。

【0029】また、トランジスタ作製部においてレジスト 28 によって開口 291 および 292 を自己整合的に窓開けする。この様に窓開けされたならば、図 4 (E) に示すように、半導体基板 11 にイオン注入等の手段によって不純物を導入し、N型拡散層からなる可動ゲート電極 15 に対応するソース電極 17 およびドレイン電極 18 を形成し、さらにトランジスタ部のソース電極 30 およびドレイン電極 31 を形成する。

【0030】次に、図 5 (A) に示すように、可動ゲート電極 15 やトランジスタ部のゲート 26 とアルミニウム配線を電気的に絶縁するために、全面に層間絶縁膜 32 を成膜する。そして、図 5 (B) に示すように、層間絶縁膜 32 に対して、ソース電極 17 およびドレイン電極 18、さらにソース電極 30 およびドレイン電極 31 の部分に対応してコンタクトホール 331~334 を開口し、図 5 (C) に示すように、各コンタクトホール 331~334 にそれぞれ対応して電極材料であるアルミニウムを成膜して、アルミニウム配線 341~344 を形成する。

【0031】そして、図 5 (D) に示すように、可動ゲート電極 15 の下部の絶縁膜 22 を犠牲層としてエッチングし、この可動ゲート電極 15 の下部にエアギャップ 24 を形成して、ヨーレートセンサが完成される。このヨーレートセンサにおいて、梁 131~134 を構成する材料として、シリコン基板 11 上に成膜した薄膜、例えば高濃度に不純物をドーパしたポリシリコンあるいは耐熱性の金属のような材料が使用される。このため、梁 131~134 の厚さのばらつきを十分に低減させることが可能となる。一般的に、片持ちの梁や両持ちの梁に対して 1 点荷重が加わった場合、その変位は梁の厚さの 3 乗と幅の 1 乗に反比例する。このため、梁の幅の加工に比較して厚さの加工に非常に精度が要求される。

【0032】また、半導体基板 11 上に予め犠牲層を形成した後に梁形状のポリシリコン層を形成し、犠牲層を

エッチング除去することによって半導体基板 11 の面上に所定の間隔が設定された梁 131~134 を形成している。ここで、犠牲層とは最終的に除去消失させることを目的として予め形成される薄膜のことである。本実施例においては、可動ゲート電極 151 および 152 と半導体基板 11 との距離は犠牲層の厚さによって制御されるものであり、この場合、犠牲層の膜厚の制御性が良好なものであるため、ソース電極とドレイン電極間の電流値の制御性も著しく向上される。

【0033】さらに、このヨーレートセンサを製造するに際して、ソースおよびドレイン電極 171、172 と 181、182 が、可動ゲート電極 151 および 152 を形成した後に、自己整合的に形成される拡散層によって構成される。すなわち、半導体基板上に犠牲層を形成して可動ゲート電極 151 および 152 の形状を形成した後、ソースおよびドレイン電極を形成する部分に窓を開け、その後この窓を介して半導体基板 11 の所定部分にイオンで不純物を導入することで、ソース電極 171 および 172、さらにドレイン電極 181 および 182 を構成する拡散層が形成される。

【0034】従って、可動ゲート電極 151 および 152 を、常にソース電極 171 および 172 とドレイン電極 181 および 182 との間の中央部に確実に形成できるように、製作プロセスにおける位置合わせ作業を単純化できる。また、これらの製造方法においてはすべて IC 作製プロセスそのもの、およびその流用で対応でき、IC 作製プロセスの中でセンサ構造体が作製できるもので、他の回路要素との一体化が容易に可能とされる。

【0035】この実施例で説明したヨーレートセンサにおいては、ヨーレート検出部を両持ちの梁構造によって構成したが、これはもちろん片持ちの梁構造でも実現することができ、さらに梁の数も特に 4 本である必要はない。また、トランジスタ並びに励振電極を振動方向の両側に設けるようにしたが、これはもちろん片側でもよい。また、励振用固定電極の歯の歯の本数を固定側 3 本、可動側を 2 本として示したが、それ以外の本数の組み合わせで構成してもよい。さらに、基板として P 型半導体を用いて説明したが、これは N 型半導体で構成することもでき、この場合、拡散電極は P 型で構成される。さらに重り 14 は 4 角形である必要はなく、例えば三角形で構成することもできる。

【0036】次に、このヨーレートセンサの作動について説明する。このヨーレートセンサは、可動ゲート電極 151 および 152 に対し、垂直方向に相対する半導体基板 11 にソースおよびドレイン電極を設け、可動ゲート電極 151 および 152 の変位によってソース・ドレイン間の電流を変化させるトランジスタ構造を採用したものである。

【0037】可動ゲート電極 151 および 152 に対し

て半導体基板11との間に電圧を印加することにより、ソース電極171および172とドレイン電極181および182との間にそれぞれ反転層21が形成され、その相互間に電流が流れる。反転層21のキャリア濃度は、半導体基板11と可動ゲート電極151、152との距離に反比例するものであり、この距離に対して電流も反比例する。従って、ソース・ドレイン間の電流変化から可動ゲート電極151および152の変位を検出し、ヨーレートを測定することができる。

【0038】トランジスタにおいては、通常、ゲート電圧を変化させることによりドレイン電流を変化させているが、ゲートと基板間のギャップが変化することでも反転層のキャリア濃度が変化してドレイン電流が変化する。このことを利用し、ヨーレートにより発生したコリオリ力を受けた可動ゲート電極151および152の変位を、ソース電極171および172それぞれとドレイン電極181および182間の電流量により検出できる。

【0039】ここで、可動ゲート電極151および152が半導体基板11の方向に変位した場合には、容量増加によってしきい値電圧が小さくなり、ドレイン電流が増加する。さらに、ゲート・基板間の電界強度が大きくなるためにドレイン電流が増加する。従って、可動ゲート電極151および152の変位率以上にドレイン電流変化が起こる。

【0040】また、励振用固定電極191~194と励振用可動電極161~164との間に、ある周波数の励振電圧を印加すると、静電気力によって励振用可動電極161~164に水平方向の振動が発生し、重り14と共に可動ゲート電極151~154も振動する。ヨーレートによって発生するコリオリ力は、この振動の速度に比例するものであり、振動速度を大きくとるために周波数は振幅の大きくなる共振点付近に選ぶことが好ましい。

【0041】この様にして励振用可動電極161~164、励振用固定電極191~194に励振用の周期電圧を印加することにより、重り14および可動ゲート電極151および152が図6(A)に示すように振動する。そして、半導体基板11と水平で且つ振動に垂直な軸を持ったヨーレート $\omega$ が発生すると、振動速度並びに振動体質量に比例したコリオリの力が半導体基板11方向に垂直な方向に発生し、重り14、可動ゲート電極151、152(以下、可動電極という)が半導体基板11と垂直方向にZ0を中心に変位する。図6(B)に、ヨーレート $\omega$ が加わった場合のその変位を示す。

【0042】可動電極の垂直変位Zは、振動速度に比例するため、水平変位より位相が $\pi/2$ だけシフトする。そして、可動ゲート電極151および152が半導体基板11と垂直方向に変位することにより、ゲート-基板間の電界強度が変化してソース電極171および172

とドレイン電極181および182間のそれぞれ電流が変わる。

【0043】本実施例においては、可動電極の垂直方向の変位を一定の値にするようにしている。このため、ソース電極171、172、ドレイン電極181、182間のそれぞれの電流を一定にするように、下部電極601と可動電極間に電圧を印加して、ある一定の値Z0に制御し、その制御電圧によりヨーレートを検出するようにしている。すなわち、下部電極601と可動電極間に図6(C)のような電圧を印加して、図6(D)に示すように可動電極の垂直変位を抑え、下部電極601と可動電極間に印加する図6(C)の電圧によりヨーレートを検出することができる。

【0044】このようなトランジスタ型のヨーレートセンサにおいては、トランジスタの温度ドリフトや増幅率の変化等の温度特性が存在している。そこで、本実施例においては、そのような温度特性に対する補正を行うため図7に示すようなヨーレート検出回路を構成している。図7において、可動部励振回路100は、励振用可動電極161~164、励振用固定電極191~194間に励振用電圧を印加して、可動電極を水平方向に振動させる。また、可動部変位検出回路200においては、可動電極の変位をドレイン電流により検出する。温度補正回路300は、可動部励振回路100からの励振信号および可動部変位検出回路200からのドレイン電流を基に、トランジスタの温度特性を考慮して、可動電極の垂直方向の変位を一定の値にする信号を形成する。

【0045】ここで、可動部励振回路100により可動電極を図8(A)のように水平振動させた状態で、そこに一定のヨーレート $\omega$ が加わると、可動電極の変位は図8(B)のように、Z0を中心に振動する。可動電極、下部電極601間に制御電圧を印加しないときのドレイン電流 $I_d$ は、図8(C)のようになる。雰囲気温度 $K=K1$ 、 $K2$ のとき、ドレイン電流 $I_d$ の振幅は、図8(C)に示すように変化する。この場合、振動中心のドリフトはあるが、 $Z=Z0$ のときのドレイン電流 $I_d$ ( $K=K1$ の場合は $I1$ 、 $K2$ の場合は $I2$ )を検出し、このドレイン電流 $I_d$ を一定にするように制御すれば、雰囲気温度の変化に係わらず、可動電極を中立位置にもってこることができる。すなわち、可動電極を水平に振動させた場合、振動方向が変わるとき可動電極の水平振動速度が零となり、水平振動速度に比例するコリオリの力による垂直変位は0となる。この場合、必ず可動電極は中立位置をとり、雰囲気温度が変化して可動部変位検出回路200の出力が変化しても、必ず中立位置となることから、その時の可動部変位検出回路200の出力を基準とし、演算することにより自動的に温度補正ができることになる。

【0046】 $Z=Z0$ は、図8(A)に示すように、可動電極が一定方向に大きく振れた時の時間 $T1$ として把



握できるため、温度補正回路300は、可動部励振回路100からの励振信号によりT1の時点を検出し、その時のドレイン電流 $I_d$  ( $K=K1$ の場合は $I1$ 、 $K2$ の場合は $I2$ )を検出して記憶し、この検出した値とその後のドレイン電流 $I_d$ との差を示す信号を出力する。この差を示す信号はその時のヨーレートを表している。従って、信号処理回路400により、温度補正回路からの差信号を信号処理してヨーレート信号を出力する。

【0047】また、可動電極制御回路500は、信号処理回路400にて信号処理した信号により、可動電極を一定にする制御電圧を作成し、下部電極601に印加する。従って、この下部電極601と可動電極間の電圧により、可動電極を中立位置に維持するフィードバックループが構成される。ここで、ヨーレートの検出は、上記信号処理回路400からの出力によるものに限らず、上記したフィードバックループにおけるフィードバックを示す信号であれば他の信号(例えば可動電極制御回路500の制御電圧)を用いるようにしてもよい。要は、特許請求の範囲で記載したように可動電極を制御する制御量であればよい。

【0048】なお、下部電極601と可動電極間の電圧は、可動電極を下方向に作用する力を発生するものであるため、電圧を印加しない状態が可動電極の上方向の最大位置で、電圧印加により下方向に作用させる力を調整することにより、可動電極を一定の位置にしている。

(第2実施例) この第2実施例においては、可動電極の垂直変位を、第1実施例のようなトランジスタ型検出方式でなく、可動電極、下部電極601間の静電容量で検出するようにしたものである。図9にその平面構成を示す。この図9中のb-b、c-c断面はそれぞれ第1実施例と同じで、図3(B)、図3(C)に示す通りである。

【0049】この第2実施例に示す静電容量検出方式では、雰囲気温度が変化しても静電容量の変化はほとんどないため、第1実施例のように温度補正を特に考えなくても垂直位置を検出、制御することができる。従って、この実施例におけるヨーレート検出回路は、図7に示すものに対し、可動部変位検出回路200にて可動電極の変位を静電容量にて検出し、この検出値が所定の値になるように、可動電極制御回路500にて可動電極を一定にする制御電圧を作成し、下部電極601に印加する。

【0050】従って、この下部電極601と可動電極間の電圧により、可動電極を中立位置に維持するフィード

バックループが構成される。また、そのフィードバックループにおける信号処理回路400にて、上記第1実施例と同様、ヨーレート信号が出力される。なお、静電容量検出電極と閉ループ制御用電極を共用させるものについて示したが、これを分割し容量検出用電極と閉ループ制御用電極を設けるようにしてもよい。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例に係るヨーレートセンサの平面構成図である。

【図2】図1に示すヨーレートセンサの概略斜視図である。

【図3】(A)～(C)はそれぞれ図1のa-a線、b-b線、およびc-c線に対応する部分の断面図である。

【図4】(A)～(E)は上記ヨーレートセンサの製造工程を順次説明する断面図である。

【図5】(A)～(D)は図4の(E)に続く製造工程を順次説明する断面図である。

【図6】(A)は可動電極の水平方向の変位を示す図、(B)はヨーレートが加わった時の可動電極の変位を示す図、(C)は下部電極-可動電極間の電圧の変位を示す図、(D)は閉ループ制御により可動電極の変位を示す図である。

【図7】ヨーレート検出回路の構成を示す構成図である。

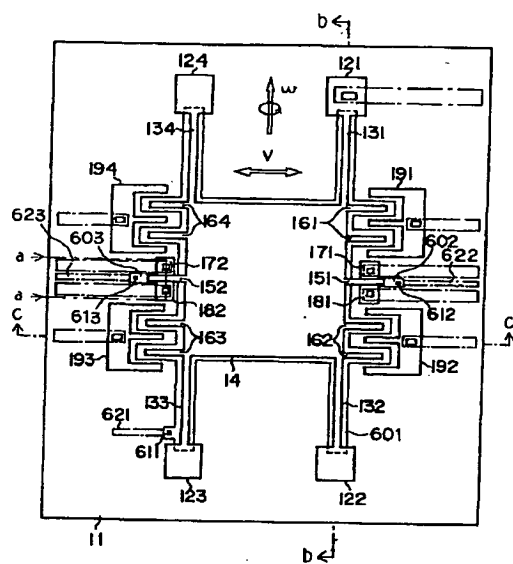
【図8】(A)は可動電極の水平変位、速度を示す図、(B)はヨーレートが加わった時の可動電極の変位を示す図、(C)は雰囲気温度が変化した時のドレイン電流を示す図である。

【図9】本発明の第2実施例に係るヨーレートセンサの平面構成図である。

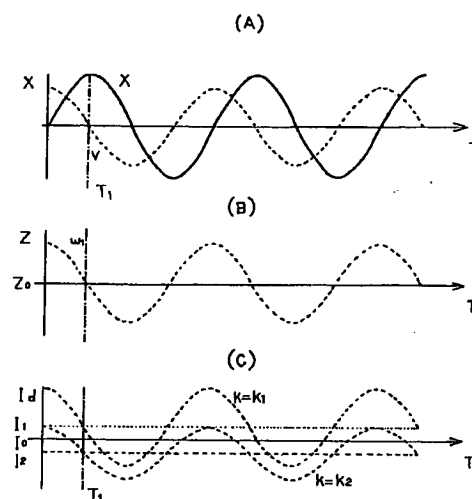
【符号の説明】

- 11 半導体基板、
- 121～124 アンカー部
- 131～134 梁
- 14 重り
- 151、152 可動電極
- 161～164 励振電極
- 171、172 ソース電極
- 181、182 ドレイン電極
- 191～194 励振用固定電極
- 21 反転層
- 22 絶縁膜
- 601～603 下部電極

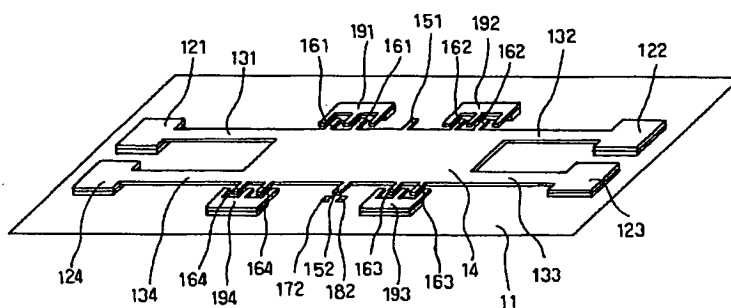
【図1】



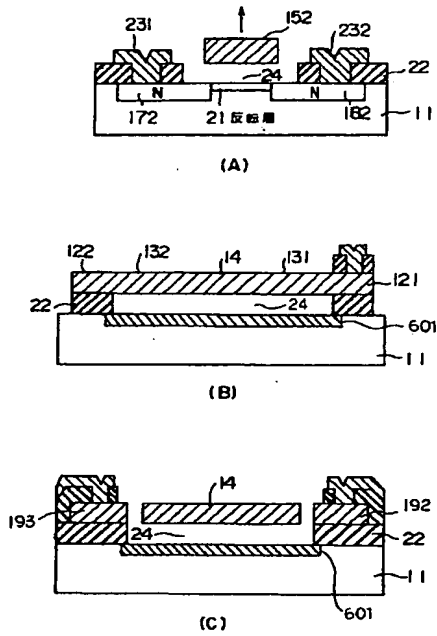
【図8】



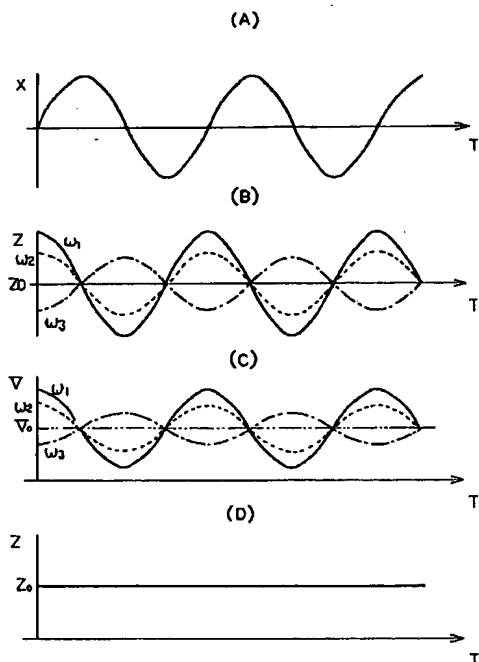
【図2】



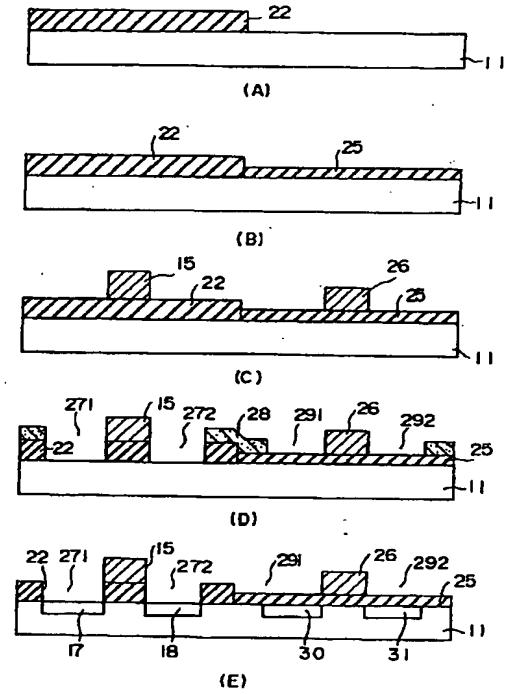
【図3】



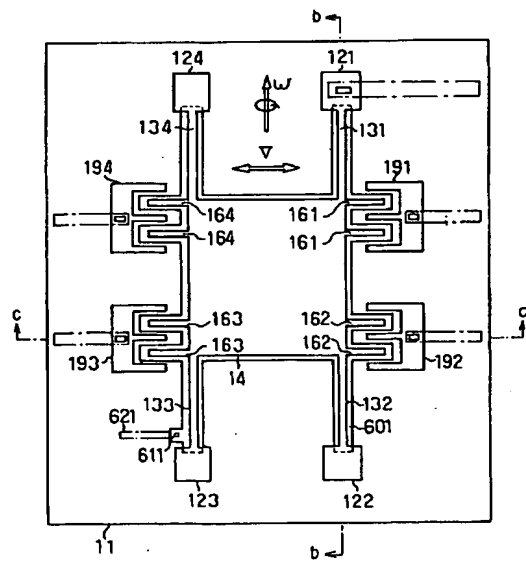
【図6】



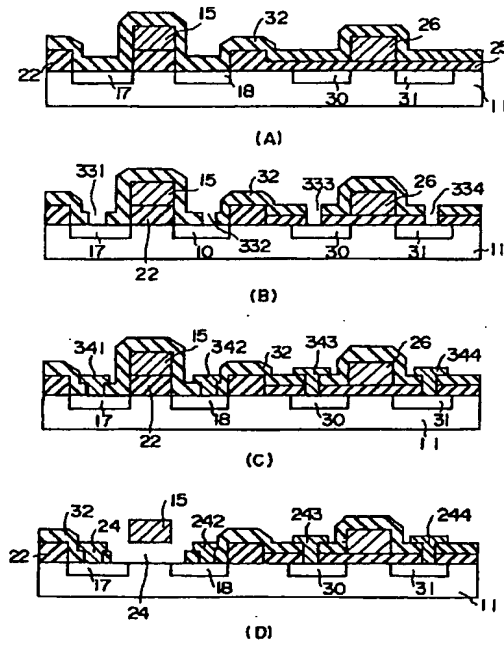
【図4】



【図9】



【図5】



【図7】

